

Wolfgang Pluschkell

Institut für Eisenhüttenkunde und Gießereiwesen der TU Clausthal

„Neue Verfahrenskonzepte“

Welche in die Zukunft weisende Konzepte verfolgt die Stahlindustrie auf diesem Gebiet? Insbesondere: Welche Entwicklungen können den Energieverbrauch vermindern? Diese Thematik weist drei unterschiedliche Aspekte auf:

- Energieeinsparung durch Innovation und Realisierung neuer Prozesse
- Energieeinsparung durch Optimierung bestehender Prozesse
- Energieeinsparung durch Entwicklung neuer Stahlsorten mit verlängertem Gebrauchswert oder geringerem Materialbedarf bei der Güterfertigung
Oder: Ersatz aufwendigerer Werkstoffe durch Stahl.

Neue Prozesse/Schmelzreduktion

Unter der programmatischen Überschrift "Radically Innovative Steelmaking Technologies" (J. Szekely, 1979) stehen heute die neuen Verfahren der Schmelzreduktion im Mittelpunkt der metallurgischen Entwicklung. Bild 1 zeigt das Konzept des Verfahrens reduziert auf die Grundelemente: In den schematisierten Hochtemperatur-Reaktor werden Feinerze und Feinkohle zusammen mit technisch reinem Sauerstoff gefördert. Das Oxiderz wird mit Kohlenstoff zu flüssigem Roheisen reduziert. Der Energiebedarf wird von der Reaktion des Kohlenstoffs mit Sauerstoff zu Kohlenmonoxid gedeckt. Das heiße Prozeßabgas dient als Wärmequelle für die Vorwärmung der Einsatzstoffe. Das Verfahren liefert also ein Vormetall für den üblichen Verfahrensweg der Rohstahlerzeugung im Konverter oder im Elektrolichtbogenofen.

Die vorgestellte Idee erscheint zunächst sehr überzeugend, weil der Schmelzreduktionsreaktor drei bisher separate Verfahrensstufen, nämlich die Kokserzeugung, die Feinerzsinterung und die Roheisenerzeugung in einer einzigen Stufe vereint. Der zweite Blick zeigt dann allerdings, daß das vorgestellte Konzept wenig Aussicht auf technische Realisierung besitzt. Die energetisch wenig ergiebige CO-Reaktion hat zur Folge, daß große Mengen an Kohle und Sauerstoff durch den Reaktor gesetzt werden müssen, um 1 Tonne Eisen zu erzeugen. Dabei entsteht ein großes Volumen an energiereichem CO-Prozeßabgas, für das außerhalb des Stahlwerks keinerlei Absatzmarkt besteht. Das vorgestellte Konzept ist im Grunde genommen ein Verfahren zur Vergasung von Kohle mit Sauerstoff, wobei flüssiges Roheisen ein Nebenprodukt darstellt.

Nimmt man nun an, daß die Oxidation des Kohlenstoffs in dem in Rede stehenden Prozeß nicht nur bis zum CO sondern bis zum CO_2 geführt werden könnte, dann zeigen die Stoff- und Energiebilanzen in Bild 2 ein überaus erfreuliches Bild: Der Verbrauch an Kohle und Sauerstoff ist auf weniger als ein Drittel der Ursprungswerte gesunken. Der Nachteil des modifizierten Verfahrenskonzeptes liegt leider darin, daß es eine metallurgische Unmöglichkeit darstellt: Steigt der CO_2 -Gehalt im Reaktor auf mehr als 20 Vol.-%, findet eine Reduktion des Eisenoxides zu metallischem Eisen bei Temperaturen um 1700 K nicht mehr statt. Soll das erzeugte Produkt auch noch rd. 2 Gew.-% Kohlenstoff enthalten, dann läßt die Gleichgewichtslage der sog. "Vacher-Hamilton"-Reaktion nur noch wenige Prozent CO_2 im Prozeßgas zu.

In einem Eisen erzeugenden Hochtemperatur-Reaktor ist das "thermodynamische" Problem nur so zu lösen, daß das aus der kondensierten Phase ausströmende CO im freien Gasraum mit Sekundär-Sauerstoff oder -Heißluft zu CO₂ nachverbrannt und die erzeugte Energie auf die Schmelze rückübertragen wird. Das in Japan verfolgte DIOS-Projekt (Direct Iron Ore Smelting) zielt darauf ab, die Wärmeübertragung mittels Schaumslaggen zu bewerkstelligen. In Australien greift man bei dem HIs melt-Projekt (High Intensity Smelting) auf Entwicklungen der Klöckner Stahl AG zurück und nutzt für die Wärmeübertragung hochturbulente Gasströmungen und der Schmelze aufgezwungene Sprüheffekte. Nach anfänglich optimistischen Meldungen sind die Erwartungen jetzt deutlich gedämpft.

Die hier mit einer gewissen, aus der Erfahrung gespeisten Reserve vorgetragenen futuristischen Ideen haben aber an einer anderen Stelle eine beträchtliche Wirkung entfaltet. Gemeint sind die Erfolge beim Einblasen von Feinkohle durch die Heißwinddüsen in das Gestell des Hochofens. Aus Bild 3 geht hervor, daß Spitzenwerte 1991 bei 170 kg Feinkohle je Tonne Roheisen lagen, heute sind 200 kg/t RE knapp erreicht. Damit erweist sich der Hochofen nicht als industrieller Veteran, wie vielfach behauptet, sondern als hochmoderner Reaktor in entwicklungsfähigem Alter. Der jährliche Koksbedarf der deutschen Stahlindustrie ist mit Einführung der Kohleeinblastechnik um rd. 3 Mio.t gesunken.

Zum Schluß dieses Abschnittes sei noch einmal auf Bild 1 eingegangen. Es wurde betont, daß die großen CO-Abgasmengen heute nicht zu kostendeckenden Preisen auf dem Markt untergebracht werden können. Es ist deshalb nur folgerichtig, das CO-Abgas zur Vorreduktion des Eisenerzes zu benutzen. Diesem Grundgedanken folgend ist nach Pilotversuchen in Deutschland (Bayerische Stahlwerke, Kehl) die in Bild 4 dargestellte Corex-Anlage Ende 1989 in Südafrika mit einer Jahresnennleistung von 300 000 t Roheisen erfolgreich in Betrieb gegangen. Aus dem Bild geht hervor, daß dem Einschmelzvergaser ein Reduktionsschacht aufgesetzt ist, in dem Stückerz mit CO-Abgas zu festem Eisenschwamm reduziert wird. Es ist unverkennbar: Es handelt sich um einen zweigeteilten Hochofen. Der Vorteil des Corex-Verfahrens liegt darin, daß statt Koks minderwertigere Kohle eingesetzt werden kann. Ersetzt man den Reduktionsschacht durch Wirbelschichtreaktoren, dann hat man auf Umwegen das angestrebte Ziel erreicht, nämlich Roheisen aus Kohle und Feinerz zu erzeugen. Es handelt sich dann allerdings nicht um einen einzigen Reaktor, sondern um ein auf die Thermodynamik und Kinetik abgestimmtes Ensemble von Reaktoren.

Reduktionsschachthöfen oder -Wirbelschichtreaktoren können natürlich auch als eigenständige Anlagen zur Erzeugung von festem Eisenschwamm betrieben werden. Als Standorte kommen vor allem Länder mit ausreichend großen Erdgasvorkommen in Betracht. Man kann erwarten, daß die gegenwärtige, weltweite Produktion von rd. 20 Mio t Eisenschwamm pro Jahr zügig steigen wird, wenn die Nachfrage nach "Edelschrott" weiter anhält. Es sei darauf hingewiesen, daß diese Technik auch den Einstieg in die Wasserstoffmetallurgie ermöglicht.

Neue Prozesse/Endabmessungsnahes Gießen

Die im Einführungsvortrag vorgestellten, konventionellen Stranggießanlagen liefern Brammen im Abmessungsbereich von 180 bis 260 mm Dicke bei Breiten bis zu 2,7 m. Zwei Stranggießanlagen dieses Typs können eine moderne Warmbreitbandstraße mit einer Jahresproduktion von 5 Mio t Warmbreitband versorgen. In den letzten Jahren ist in der BRD ein neues Anlagenkonzept mit folgenden Kennzeichen entwickelt worden:

- Reduktion der Brammendicken auf rd. 50 mm
- Unmittelbare Weiterverarbeitung der Dünnbrammen auf "abgemagerten" Warmbandstraßen.

Die nach diesem Konzept erzielten Vorteile sind

- rd. 30% Einsparung im Investmentbedarf
- verringerter Energiebedarf für die Umformung
- verkürzte Durchsatzzeiten, d.h. größere Flexibilität auf dem Markt.

In Bild 5 ist im oberen Teil die CSP-Anlage von Nucor Steel und im unteren Teil die ISP-Anlage von Arvedi schematisiert dargestellt. In beiden Fällen ist die Gießdicke rd. 50 mm. Zur Entkopplung von Gieß- und Walzprozeß dient bei Nucor ein 162 m langer Rollenherdofen, bei Arvedi nach in-line Dickenreduktion der Bramme auf rd. 20 mm eine gasbeheizte Coilbox (sog. Cremona-Box). Hinweis: Die Walzlinie von Nucor ist unterdessen um ein 5. Gerüst erweitert worden. Bild 6 zeigt den Stand der Dünnbrammentechnik 1993. Der deutsche Anlagenbau ist weltweit führend in der neuen Technik.

Die kleiner gesetzte Technik ermöglicht auch "Mini"-Stahlwerken die Produktion von Flachprodukten. Um falsche Vorstellungen zu vermeiden, sei bemerkt, daß das Investment für eine derartige, rd. 500 000 t Warmband je Jahr produzierende Anlage rd. 200 Mio DM beträgt. Hinzu kommt, daß das Segment der hoch-

wertigen Tiefziehgüten, Grobblech- und Rohrstuhlqualitäten auf Schrottbasis nicht erzeugt werden kann. Aus dieser Zwangslage kann man sich nur befreien, indem man den im Elektrolichtbogenofen eingesetzten Schrott durch sehr reinen "Edelschrott", d.h. direkt reduziertes Eisen ersetzt. Dieser Trend hat in den USA bereits eingesetzt. Man kann also prognostizieren, daß die Schachtofen- und Wirbelschichtverfahren zur Direktreduktion einen Aufschwung erleben werden, von dem vor allem Entwicklungsländer profitieren könnten.

Auf ein ganz neues Feld führt die Technik des unmittelbaren Gießens von Bandstahl im Abmessungsbereich von 1 bis 10 mm Dicke. Bei Gießgeschwindigkeiten bis zu 1 m s^{-1} können oszillierende Kokillen nicht mehr eingesetzt werden. In Frage kommen nur noch "mitlaufende Kokillen", die nach Bild 7 aus einer einzigen Rolle, aus zwei Rollen oder aus einem umlaufenden Band und einer Oberrolle bestehen. Das am weitesten entwickelte Zweirollenverfahren geht auf ein Patent von Sir Henry Bessemer aus dem Jahre 1891 zurück. Bild 8 zeigt die von Bessemer entworfene Gießmaschine.

An der Verwirklichung der "Bandgießidee" wird zur Zeit weltweit intensiv gearbeitet. Dabei müssen zahlreiche prozeßtechnische und qualitative Probleme gelöst werden:

- Kontrolle der Schmelzenzufuhr in den Kokillenspalt
- Ausführung der Seitenabdichtung
- Regelung der Rollen-Andruckkraft
- Vermeidung von Bandrissen
- Beherrschung von Fehlern auf der um den Faktor 100 vergrößerten Stahloberfläche.

Unterdessen haben sich auch bereits große Erfolge eingestellt, wie aus Bild 9 hervorgeht. Das Bild zeigt das Schema der von der Thyssen Stahl AG und dem Unternehmen Usinor-Sacilor gemeinsam entwickelten Anlage (Myosotis "Vergißmeinnicht"-Projekt). Man kann vermuten, daß noch rd. 3 Jahre erforderlich sind, um das Konzept voll ausreifen zu lassen. Bereits jetzt zeichnet sich aber ab, daß die Produktivität derartiger Anlagen begrenzt ist, so daß sie ein Einsatzfeld vermutlich nur in der Produktion von Bandedelstahl finden werden. Zumindest ist dies die Meinung japanischer Fachleute, die ebenfalls auf diesem Gebiet umfangreiche Arbeiten geleistet haben.

Optimierung der Prozeßtechnik

Der Neubau metallurgischer Produktionsanlagen erfordert sehr hohe Finanzmittel. Das auf der "grünen Wiese" errichtete, mit modernster Technik ausgestattete Stahlwerk ist aber dennoch in absehbarer Zeit dem Wettbewerb erlegen, wenn das Unternehmen nicht in der Lage ist, die Produktionstechnik in ständigen Innovationen auf dem neuesten Stand der Technik zu halten. Auf dem Gebiet der Prozeßoptimierung besteht eine öffentlich kaum wahrgenommene internationale Dynamik: Fortschritte heute in Europa werden morgen aufgenommen in Japan und den USA; das gleiche gilt für den umgekehrt ablaufenden Technik-Transfer.

In diesem Wettbewerb hat sich die deutsche Stahlindustrie bisher gut behaupten können: Bild 10 zeigt die kontinuierliche Weiterentwicklung des Elektrostahlverfahrens hinsichtlich Schmelzenfolgezeit, Energieverbrauch und Verbrauch an Kohleelektroden. Die Kennzahlen wurden fast halbiert oder auf ein Drittel herabgesetzt. Die aufgezeigte Entwicklung geht in wesentlichen Teilen auf Beiträge der deutschen Stahlindustrie zurück.

Ausgelöst durch die Entwicklung leistungsstarker Thyristoren werden Elektrolichtbogenöfen heute auch als Gleichstromanlagen nach dem Schema von Bild 11 konzipiert. Man nimmt an, daß der Verbrauch an Elektroenergie bei dieser neuen Technik nochmals gesenkt werden kann.

Von besonderem Gewicht sind auch folgende Entwicklungsschwerpunkte: Meßtechnik, Automatisierung, Robotertechnik, Einsatz von "in-line"- und "off-line"-Prozeßmodellen, Expertensysteme, komplette Produktions- und Qualitätsüberwachung: Bild 12 soll als Beispiel dienen für die Ausrüstung eines Hochofens mit moderner Meßtechnik. Die Informationsverarbeitung erfordert den Einsatz schneller Betriebsrechner mit großem Speichervolumen. Zur Mustererkennung von Betriebszuständen werden die Methoden der "Fuzzy Logic" und der "neuralen Netze" eingesetzt.

Das erste Beispiel für den vorteilhaften Einsatz von Prozeßmodellen ist ein Qualitäts-, Energie- und Schadensproblem beim Stranggießen von Stahl. Bei zu großer Belastung der noch dünnen Strangschale können im Extremfall "Durchbrüche" auftreten, bei denen der noch flüssige Stahlsumpf in das Rollengerüst der Maschine ausläuft. Große Schäden, lange Stillstandszeiten sind die Folge. Empfindliche Stahlsorten neigen zu oberflächlichen Längsrissen, deren Ent-

stehungsort eindeutig der Kokillenbereich ist. In diesem Fall müssen die auf Raumtemperatur abgekühlten Brammen durch "Flämmen" repariert werden. Beide Schadensarten nehmen zu mit steigender Gießgeschwindigkeit. Es ist unmittelbar einsichtig, welche Bedeutung der "in-line"-Detektion von Schäden zukommt. Der meßtechnische Grundgedanke zur Lösung des Problems besteht darin, die Stranggießkokille mit Thermoelementen auszurüsten mit dem Ziel, frühzeitig Informationen über eine etwaige Temperaturüberlastung der Strangschale zu erhalten. Diese Idee ist nicht eben neu, sie ist aber erst jetzt in aller Konsequenz umgesetzt worden. Bild 13 zeigt das Gesamtsystem: Die Platten der 2,7 m breiten Kokille sind mit 72 Stück Thermoelementen ausgerüstet. Die Temperatursignale werden zyklisch gemessen, verstärkt, verdichtet gespeichert und ausgewertet. Für die Auswertung wurde ein eigener Algorithmus zur Mustererkennung entwickelt. Bei Anzeige einer kritischen Temperaturbelastung wird die Stranggießgeschwindigkeit herabgesetzt. Ein detektierter Rißbefall wird dem Betriebsrechner per Telegramm mitgeteilt, der die ortsgenaue Kennzeichnung der Fehlerstellen auf der Bramme veranlaßt. Die Fehler werden mit einer koordinatengesteuerten Flämmmaschine beseitigt. Das neu entwickelte System führte zu folgenden Ergebnissen: Durchbrüche sind infolge sofort angepaßter Gießtechnik nicht mehr aufgetreten, die Erfolgsrate bei der Längsrißdetektion ist 80%.

Das zweite Beispiel betrifft die Entwicklung eines Simulationsmodells zur quantitativen Beschreibung des zeitlichen Verlaufs des Stickstoffgehalts in der Stahlschmelze während der Blasdauer im LD-Konverter. In das Modell wurden einbezogen die [N]-Thermodynamik, die Mikrokinetik, die Makrokinetik hinsichtlich des Prozeßablaufs wie Entkohlungs geschwindigkeit, Schrottaufschmelzgeschwindigkeit, Bodenspültechnik. Bild 14 zeigt die Ergebnisse von Parameterstudien auf der Basis des entwickelten Modells. Ohne Bedeutung für den [N]-Endgehalt ist der [N]-Gehalt im Roheisen, von entscheidender Bedeutung ist hingegen der [N]-Gehalt im Schrott. Die betriebssichere Einstellung niedrigster Stickstoffgehalte im Stahl ist wesentlich für die Produktion von Sondertiefziehqualitäten und Pipeline-Rohstahlgüten.

Entwicklung neuer Stahlsorten

Der europäische Markt wird mit rund 2500 verschiedenen Stahlsorten versorgt. 500 von ihnen wurden entsprechend den besonderen Einsatz- und Gebrauchs-

bedingungen in den letzten zehn Jahren neu entwickelt. Stahl ist der Werkstoff des industriellen Zeitalters und wird es wegen seines unerschöpflichen Entwicklungspotentials auch im postindustriellen Zeitalter bleiben. Unter der programmatischen Überschrift "Stahl und Sustainability" interessieren vornehmlich drei Aspekte der Werkstofftechnik:

- Neue Stahlsorten für den Leichtbau
- Stahlsorten mit verbesserter Korrosionsbeständigkeit
- Neue Stahlsorten für spezielle Einsatzgebiete in innovativer Technik.

Über das Thema "Leichtbau" haben wir vor vier Wochen in dieser Vortragsreihe aufschlußreiche Beiträge und Diskussionen verfolgen können. Heute ist im Einführungsvortrag auf die Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit von Stahl durch metallische Überzüge und organische Beschichtungen hingewiesen worden. Ergänzend zu dieser Thematik sei hier Bild 15 vorgestellt: Die neu für die Schmelztauchtechnik entwickelten Zn/Al-Überzüge Galvan (Zn; 5% Al; 0,05% SE), Galvalume (Zn; 55% Al; 1,5% Si) und Galvannealed (Zn; 10% Fe) haben die Korrosionsbeständigkeit von Bandstahl im Vergleich zu einfachen Zn-Überzügen um den Faktor zehn verbessert. Die weiteren Ausführungen sollen sich auf den dritten Aspekt "Neue Stahlsorten für High-Tech-Anwendungen" konzentrieren.

Die im wesentlichen in der BRD entwickelten Verfahren der Sekundärmetallurgie (großtechnische Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen, Entschwefelung und Calciumbehandlung) haben in den 70er und 80er Jahren ihren Durchbruch erlebt. Moderne sekundärmetallurgische Raffinationsverfahren ermöglichen heute großtechnische Stahlmetallurgie im ppm-Bereich, falls dies für die Werkstoffqualität erforderlich ist. Aus Bild 16 geht hervor, daß für die Elemente Sauerstoff, Schwefel, Phosphor, Stickstoff, Kohlenstoff, Wasserstoff die Grenze von 10 ppm nahe erreicht ist oder bereits weit unterschritten ist. Es sei bemerkt, daß die in Rede stehende, extreme Raffination stahlsortenspezifisch ist. In anderen Fällen werden die Elemente mit Ausnahme von Sauerstoff und Wasserstoff durchaus auch als nützliche und dazu preiswerte Legierungsstoffe eingesetzt. Die Raffination auf extrem kleine Endgehalte ist erforderlich bei ULC (Ultra Low Carbon)- und IF (Interstitial Free)-Stählen für Sondertiefzieh Zwecke und bei mikrolegierten Stahlsorten.

Die chemische Zusammensetzung (Legierung) des Stahls ist aber bei weitem nicht alles. Seine Gebrauchseigenschaften werden von der Kombination von

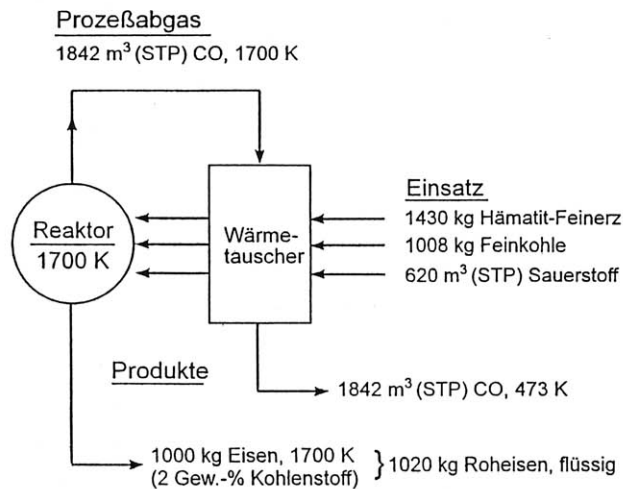
Metallurgie, Werkstoffumformung und Wärmebehandlung bestimmt. Die Austauschpfeile im oberen Teil von Bild 17 sollen andeuten, daß diese drei Felder in stringenten Regelkreisen miteinander verbunden sind. Maßnahmen in der einen Prozeßstufe ziehen Maßnahmen in der anderen nach sich. Diese Verschränkungen sind typisch für den vielseitigen Werkstoff Stahl.

In der Gruppe der Allgemeinen Baustähle ist ein spezielles Problem zu lösen: es handelt sich um die Kombination von hoher Festigkeit mit ausreichender Zähigkeit. Bild 18 zeigt den enormen Einfluß von Schwefel auf die Kerbschlagarbeit von X52 bis X70 Rohrstahlgüten. In den 70er Jahren waren 50 J erreicht, in den 80er rund 150 J, heute sind bei Einsatz der Calciummetallurgie rd. 200 J erreichbar. Beim Transport von hochverdichtetem, H_2S -haltigem Erdgas durch Pipelines muß gewährleistet sein, daß der Werkstoff resistent ist gegenüber der sogenannten "Wasserstoff induzierten Rißbildung". Diese Bedingung ist erfüllt, wenn der Werkstoff Stahl einen ausgezeichneten oxidischen Reinheitsgrad und Schwefelgehalte unter 10 ppm aufweist. Darüber hinaus muß eine neue Walz- und Kühltechnik angewendet werden. Das sog. "Thermomechanische Walzen" ist durch niedrige Walzendtemperaturen und eine spezielle Intensivkühlung auf der Auslaufstrecke gekennzeichnet. Der nach diesem Programm erzeugte Bandstahl ist sehr feinkörnig und weist deshalb auch bei hoher Festigkeit eine überdurchschnittliche Zähigkeit auf. Die Dynamik in der Entwicklung von Rohrstahlgüten geht sinnfällig aus Bild 19 hervor. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß heute Stähle mit 200 J Kerbschlagarbeit für Fernleitungsrohre eingesetzt werden.

Bild 20 zeigt die zeitliche Entwicklung der Baustähle in den Hochfestigkeitsbereich von fast 1000 N mm^{-2} Mindeststreckgrenze. Um derart hochgezüchtete Stähle im Konstruktionsbau überhaupt einsetzen zu können, muß ihre einwandfreie Schweißbarkeit gewährleistet sein. Die Schweißtechnik von Stahl hat in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erlebt. Unter strikter Beachtung von Vorwärmtemperaturen, eingebrachter Streckenenergie beim Schweißen, Abkühlzeiten und Nachbehandlung der Schweißnaht gelingt es heute, praktisch gleiche Eigenschaften von Schweißnaht, wärmebeeinflusster Zone und Grundwerkstoff sicherzustellen. Die Entwicklung von Tragfähigkeit und Tragsicherheit von Schweißkonstruktionen findet ihren Niederschlag z.B. im Kranbau. Bild 21 belegt, daß die Tragfähigkeit von Teleskopkränen in der Modellfolge von 1980 bis 1988 durch den Einsatz hochfester Stähle bei gleichem Rahmengewicht um den Faktor mehr als vier gewachsen ist.

In einer Industriegesellschaft kommt der Kraftwerkstechnik eine besondere Bedeutung zu. Bild 22 zeigt die Entwicklung der Arbeitspunkte von Dampfanlagen und die damit verbundenen Nennwirkungsgrade. Heute sind Anlagen mit Dampftemperaturen und -drücken von 580°C und 275 bar in der Diskussion. Man kann erwarten, daß die 600°C-Grenze bald überschritten werden soll. Für diesen Hochlastbereich müssen hochlegierte, austenitische Stähle wegen ihrer besonderen Zeitstandfestigkeit in Betracht gezogen werden. Auch in diesem Fall steht das Problem der Schweißbarkeit im Vordergrund des Interesses. Der neu entwickelte, mit Stickstoff stabilisierte und gut schweißbare Austenit X 3 Cr Ni Mo N 17 13 eröffnet nach Bild 23 vielversprechende Perspektiven.

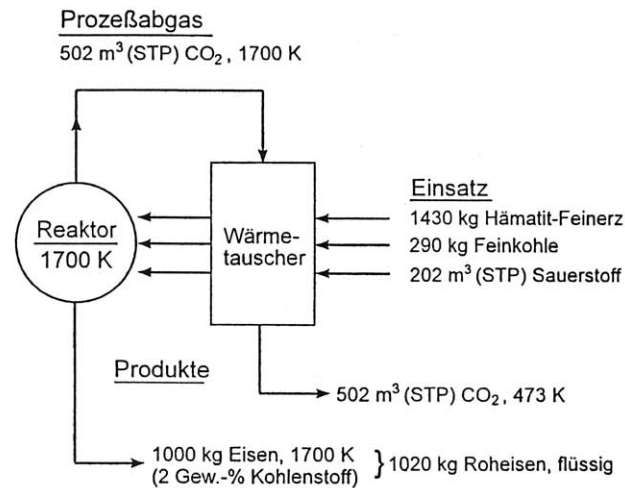
Seit 1985 erlebt Stahl im Hochbau eine Renaissance. Der in Bild 24 dokumentierte steile, und nur durch die letzte Rezession gebremste Anstieg in der Stahlbauproduktion wird von Hohlprofil- und Seilkonstruktionen getragen. Es handelt sich hierbei in der Regel um Verbundbauwerke in Stahl, Beton und Glas. Bild 25 zeigt die vor drei Wochen eingeweihte "Brücke der Normandie". Bei dieser Schrägseilkonstruktion über die Seinemündung bei Le Havre wurden 6000 t hochfester Stahl eingesetzt. Entstanden ist ein filigranes, scheinbar schwereloses, ästhetisch schönes Brückenbauwerk. Eine konstruktive Lösung undenkbar ohne den Werkstoff Stahl.



1700 K stationäre Reaktortemperatur
Einsatzstoffe in reinem Zustand bei Raumtemperatur
Keine Energieverluste

Verfahrenskonzept der Schmelzreduktion

Bild 1



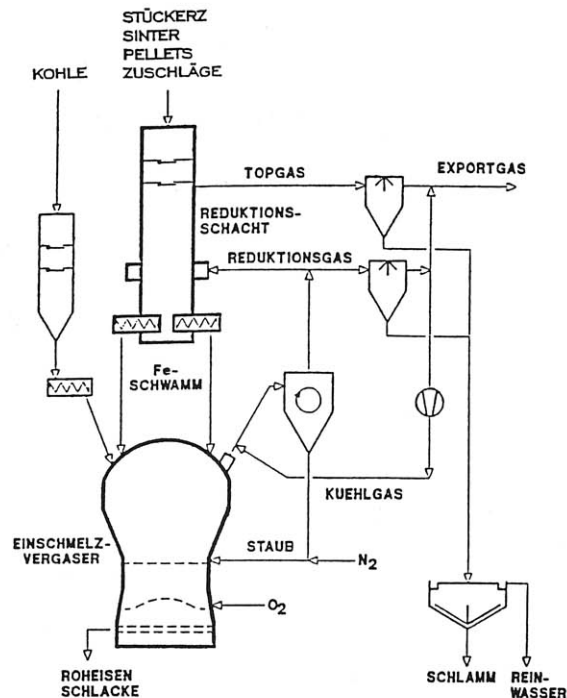
1700 K stationäre Reaktortemperatur
Einsatzstoffe in reinem Zustand bei Raumtemperatur
Keine Energieverluste

Verfahrenskonzept der Schmelzreduktion

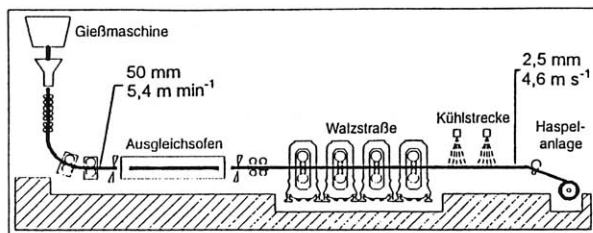
Bild 2

	Hoch- ofen	Kohleein- blasrate kg/t RE	Koks- verbrauch kg/t RE	Gesamtbrenn- stoffverbrauch kg/t RE
Thyssen Stahl AG (Schwelgern I)	S1	171,8	320,9	492,7
Rogesa (Dillingen)	5	118	344	462
Hoesch Stahl AG (Westfalenhütte)	7	103	390	493
Sumitomo Metals (Kokura, Japan)	2	160	330	490
Durchschnittlicher Brennstoffverbrauch je t RE (Werte für BRD): 390 kg Koks, 27 kg Öl, 64 kg Kohle				

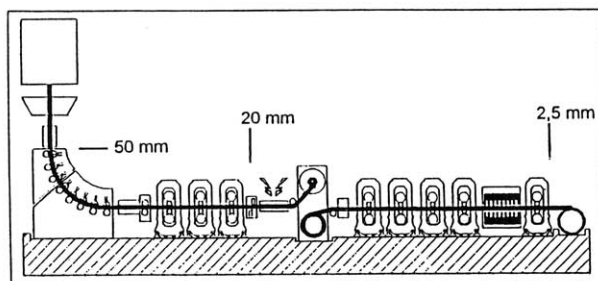
Betriebsergebnisse 1991 beim Einblasen von
Feinkohle in Hochöfen
(nach Peters, K. H. u. Längen, H. B.: Stahl u. Eisen 112 (1992)
Nr. 11, S. 29/36
und
Sumitomo Metals Eng. Techn. Serv. News No.26, Sept. 1992)



Fließschema des Corex-Verfahrens
(nach Havenga, B. et al.: BHW 135 (1990) Nr. 9, S. 296/300)



Compact Strip Production
(CSP-Anlage, Schloemann Siemag AG)
Kapazität: 820.000 t/Jahr - Nucor Steel, USA



Inline Strip Production
(ISP-Anlage, Mannesmann Demag Hüttentechnik)
Kapazität: 500.000 t/Jahr - Arvedi, Italien

Gießen von Dünnbrammen und "In-Line"-Walzen
von Warmband
(nach Nilles, P.: Stahl und Eisen 113 (1993) Nr.9,
S. 53/60 mit Ergänzungen)

Bild 5

Betreiber, Werk	Land	Lieferant	Jahr der Inbetriebnahme
<i>In Betrieb:</i>			
Nucor, Crawfordsville	USA	SMS	1989
Nucor, Hickman	USA	SMS	1992
Arvedi, Cremona	Italien	MDH	1992
Avesta, Avesta	Schweden	VAI	1988
Ilva, Terni	Italien	SMS	1993
<i>Bestellt:</i>			
Hylsa, Monterrey	Mexiko	SMS	1994
Çukurova, Aliaga	Türkei	MDH	1995
Hanbo Steel, Pusan	Korea	SMS	1995
Nucor, Crawfordsville	USA	SMS	1994
Nucor, Hickman	USA	SMS	1994
Geneva Steel, Proro	USA	SMS	1993
Gallatin Steel ¹⁾ , Warsaw	USA	SMS	1995

1) Joint-Venture-Unternehmen von Dofasco und Co-Steel

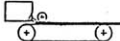



SMS: Schloemann Siemag AG
MDH: Mannesmann Demag Hüttentechnik
VAI: Voest-Alpine Industrieanlagenbau GmbH

Dünnbrammengießanlagen

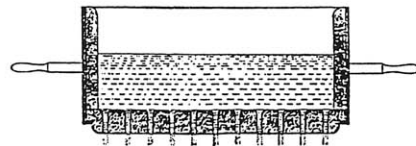
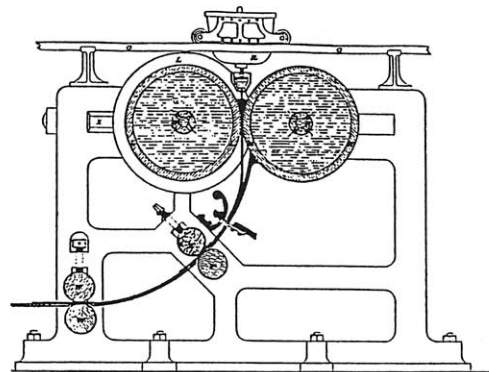
Stand: 01.07.1993

(nach Nilles, P.: Stahl u. Eisen 113 (1993) Nr.9, S.53/60)

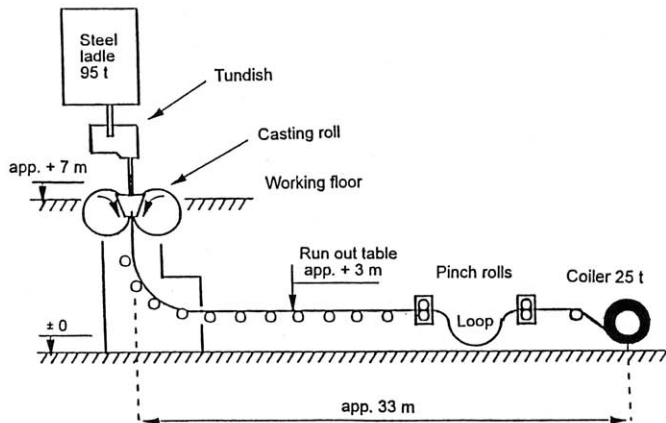
Bild 6

Dünmband	1 Band / 1 Rolle		5 bis 10 mm
	2 Rollen / Oberrolle		1 bis 5 mm
	2 Rollen		1 bis 5 mm
	1 Rolle		< 3 mm

Verfahrensprinzipien zum Gießen dünner Bänder
(nach Reichelt, W. et al.: Stahl u. Eisen 108 (1988) Nr. 9, S. 31/39)

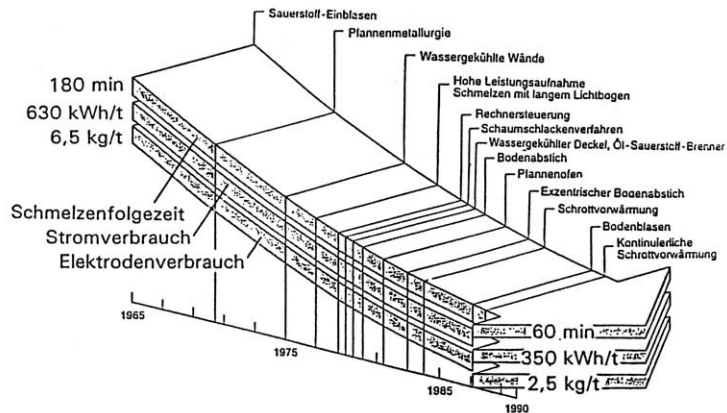


Bessemer's Vorschlag zum Dünmbandgießen (1891)
(Stahl u. Eisen 111 (1991) Nr. 2, S. 51)



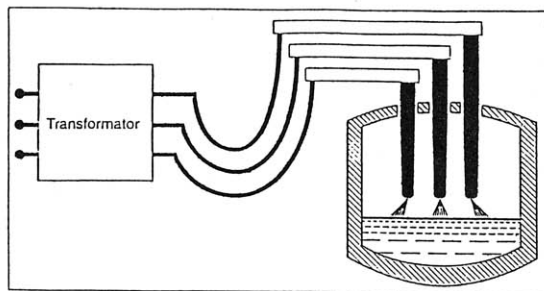
Auslegung der Bandgießanlage in Isbergues
(Myosotis Projekt)
(nach Legrand, H.: METEC, Juni 1994)

Bild 9

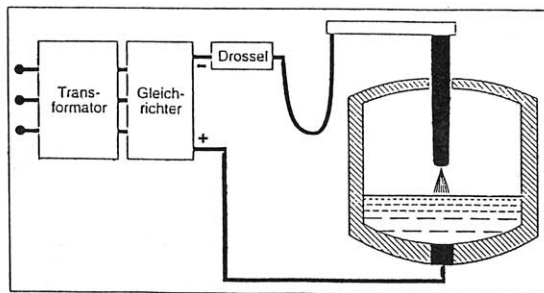


Weiterentwicklung des Elektrostahlverfahrens
(nach Trapagor, G.; Szekeley, J.: Stahl u. Eisen 114 (1994),
Nr.9, S. 43/55)

Bild 10



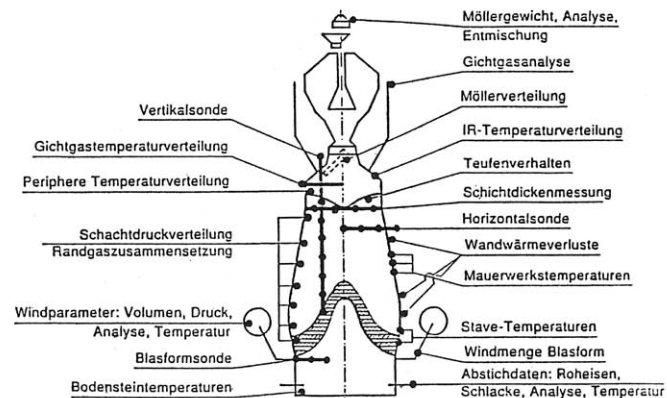
Drehstrom-Lichtbogenofen



Gleichstrom-Lichtbogenofen

Ofentypen für die Elektrostahlerzeugung
(nach Köhle, S.: Stahl u. Eisen 114 (1994), Nr. 5, S. 37/41)

Bild 11

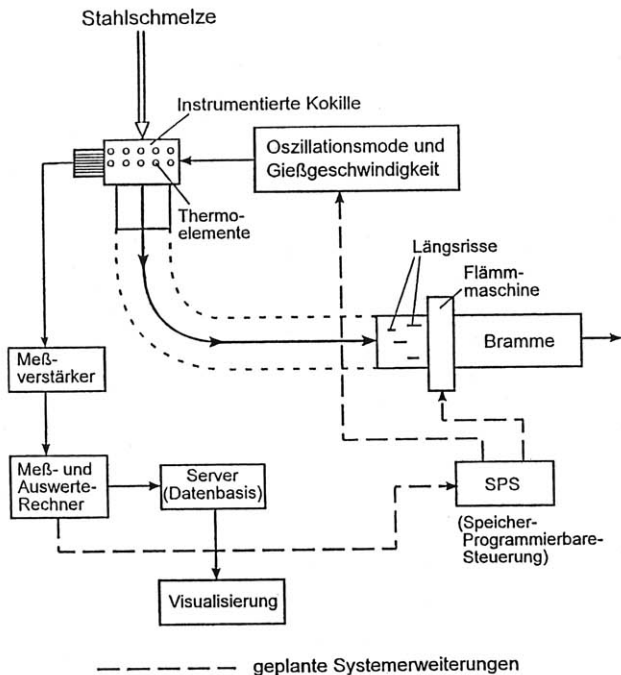


Meßtechnik am Hochofen Schwelgern

(nach Peters, K.H.; Lungen, H.-B.:

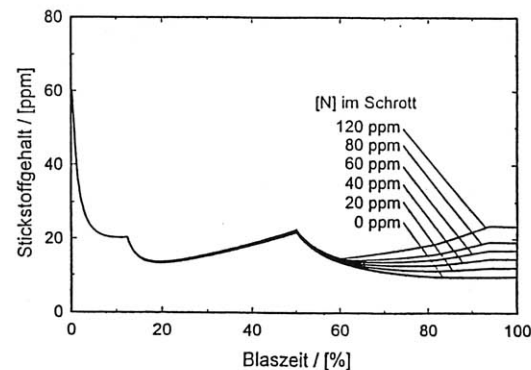
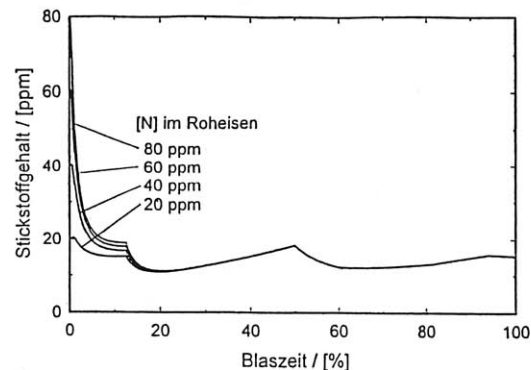
Stahl u. Eisen 110(1990), Nr.2, S. 55/64)

Bild 12



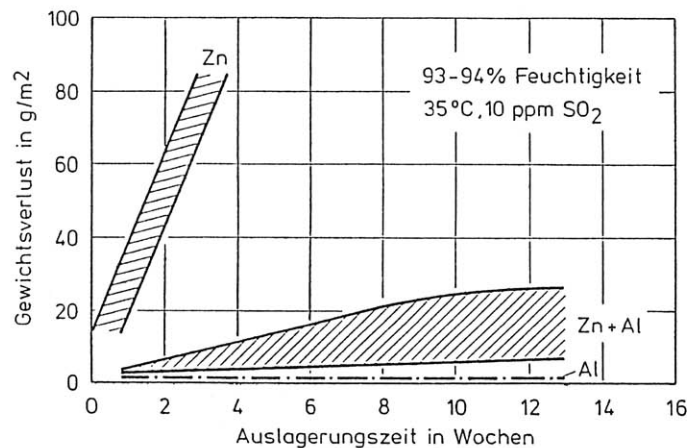
Instrumentierte Kokille zur prozeßbegleitenden Güteüberwachung einer Brammenstranggießanlage
(nach Petry, S.: Diss. TU Clausthal, Dez. 1994)

Bild 13

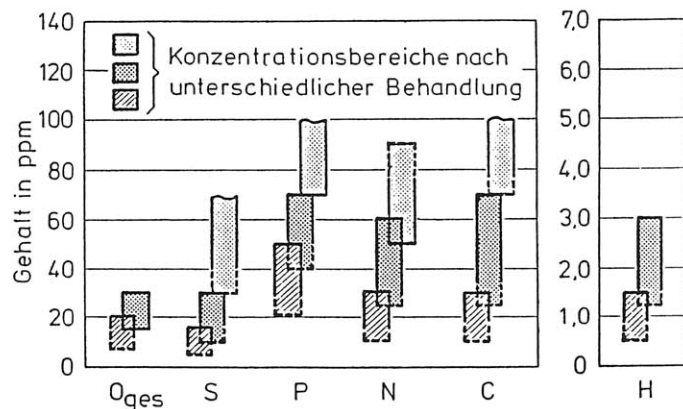


Entwicklung der Stickstoffgehalte im Rohstahl (LD-Verfahren)
Einfluß der [N]-Gehalte in Roheisen und Schrott
(nach Kempken, J.: Diss. TU Clausthal, März 19994)

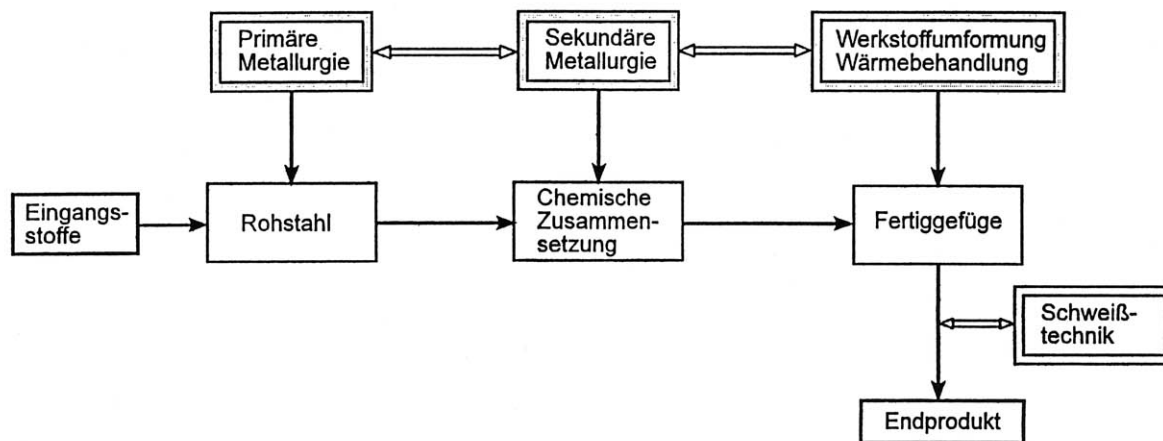
Bild 14



Gewichtsverlust von Feinblechen mit unterschiedlichen metallischen Überzügen im Korrosionstest
(nach Straßburger, Ch.: Stahl u. Eisen 107 (1987) Nr. 4, S. 25/32)

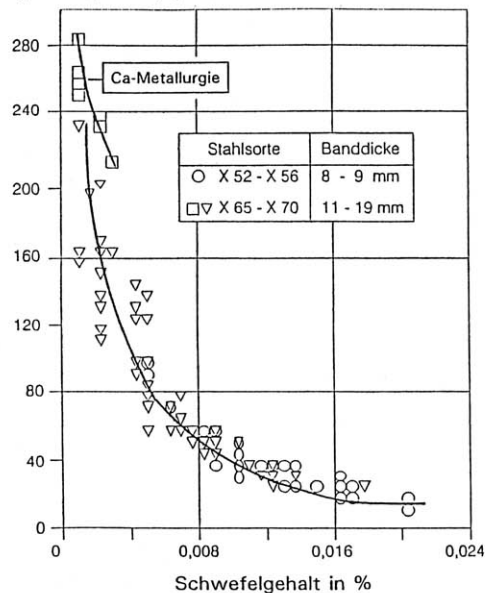


Durch metallurgische Sondermaßnahmen erreichbare niedrigste Gehalte an Begleitelementen
(nach Straßburger, Ch.: Stahl u. Eisen 107 (1987) Nr. 4, S. 25/32)



Prozesse zur Steuerung der Werkstoffeigenschaften

Kerbschlagarbeit in der
Hochlage in J (ISO-V, quer)

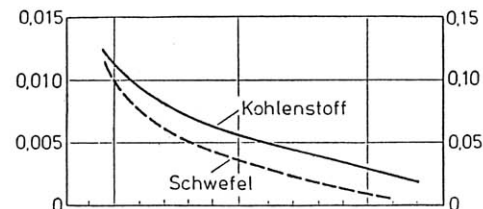


Einfluß des Schwefelgehaltes auf die Zähigkeit
von Warmbreitband

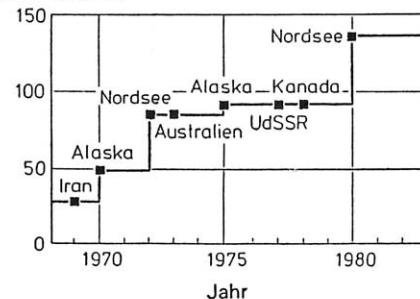
(nach Nilles, P.: Stahl u. Eisen 113 (1993) Nr. 12, S. 95/100)

Schwefelgehalt in Gew.-%

C-Gehalt in Gew.-%

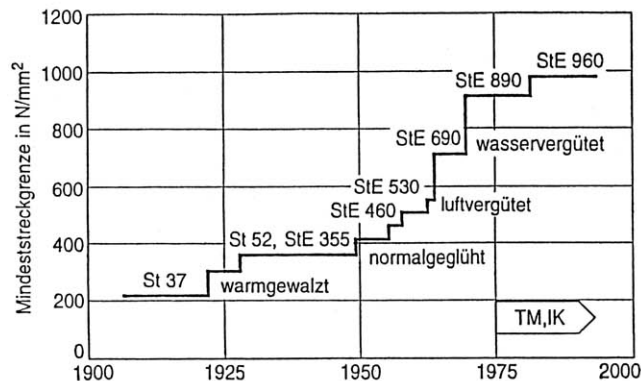


Kerbschlagarbeit in der
Hochlage (ISO-V, quer)



Anstieg der Anforderungen an Grobblech
für Fernleitungsrohre

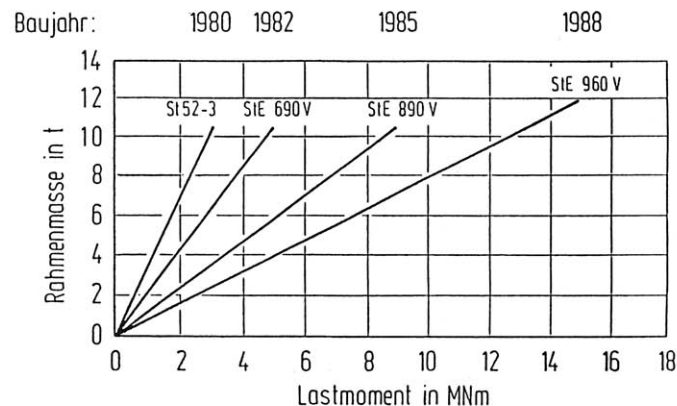
(nach Straßburger, Ch.: Stahl u. Eisen 107 (1987) Nr. 4, S. 25/32)



Entwicklung der Baustähle in Deutschland
(nach Uwer, D. et al.: Stahl u. Eisen 112 (1992) Nr. 4, S. 29/35)

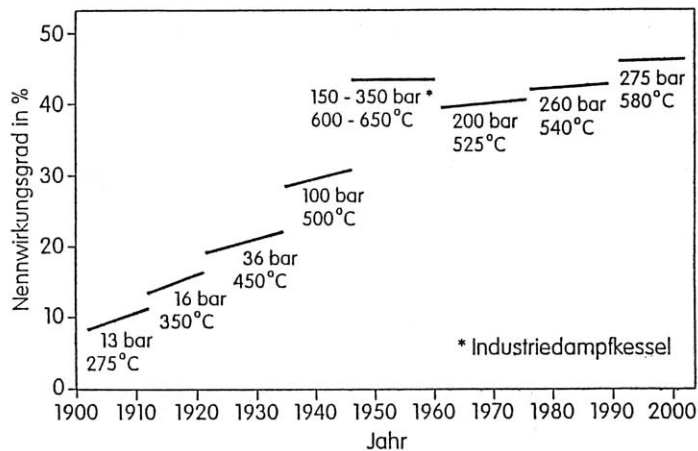
TM : Thermomechanisches Walzen
IK : Intensiv-Kühlung

Bild 20

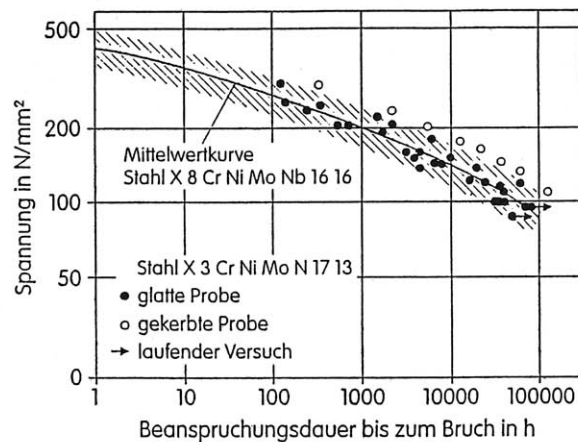


Einsatz hochfester Stähle im Teleskopkranbau
(nach Kolp, D. V.: "Stähle für den Stahlbau",
Verlag Stahleisen (1988), S.175/204)

Bild 21

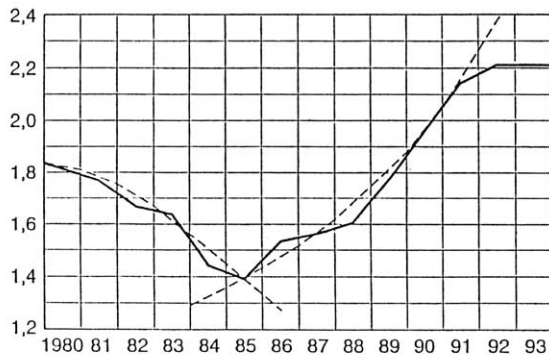


Entwicklung von Drücken, Temperaturen und
Nennwirkungsgraden in Dampfanlagen
(nach Solbeck, K.: Stahl u. Eisen 114 (1994) Nr. 10, S. 49/57)

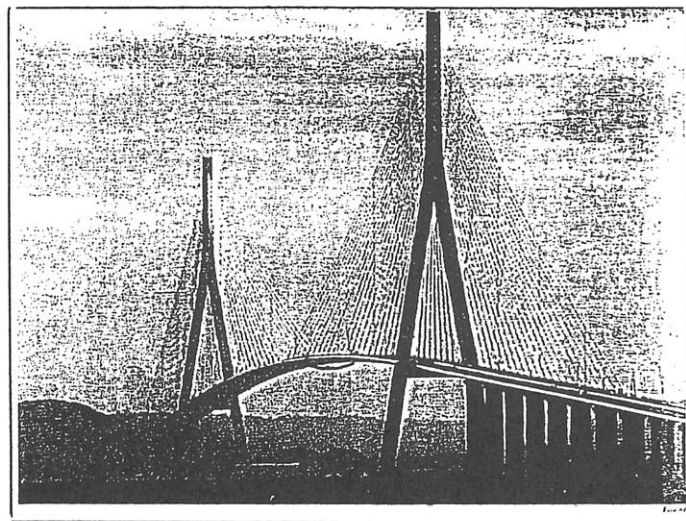


Zeitstandfestigkeit der Stähle X3 CrNiMoN 17 13 und
X8 CrNiMoNb 16 16 bei 650°C
(nach Solbeck, K.: Stahl u. Eisen 114 (1994) Nr. 10, S. 49/57)

Stahlbauproduktion
in Mio. t



Stahlbauproduktion der alten Bundesländer
(nach Sedlacek, G.: Stahl u. Eisen 114 (1994) Nr. 10, S. 71/75)



Brücke der Normandie
(nach FAZ : 21.01.95)